



МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ  
С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(51) Международная классификация  
изобретения<sup>8</sup>:  
B23K 26/00

A1

(11) Номер международной публикации: WO 96/20062  
(43) Дата международной  
публикации: 4 июля 1996 (04.07.96)

(21) Номер международной заявки: PCT/RU94/00276

(22) Дата международной подачи:  
23 декабря 1994 (23.12.94)

(71)(72) Заявитель и изобретатель: КОНДРАТЕНКО  
Владимир Степанович [RU/RU]; 111402 Москва, ул.  
Вешняковская, д. 12, корп. 1, кв. 41 (RU) [KONDRA-  
TENKO, Vladimir Stepanovich, Moscow (RU)].

(81) Указанные государства: CA, JP, KR, RU, US, евро-  
пейский патент (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB,  
GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Опубликована

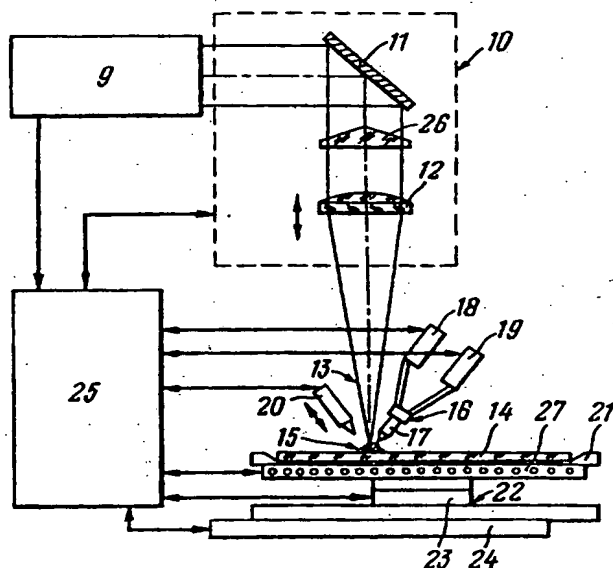
С отчетом о международном поиске.

(54) Title: METHOD OF CUTTING NON-METALLIC MATERIALS AND A DEVICE FOR CARRYING OUT SAID METHOD

(54) Название изобретения: СПОСОБ РЕЗКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Abstract

The invention concerns a method of cutting non-metallic materials using thermoelastic stresses. It involves heating the line using, for example, a laser beam whose power density distribution at the material surface in the cross section across the beam centre diminishes from the periphery of the beam to the centre, the beam shape at the material surface substantially matching the cutting contour. The proposed device according to one of the variants comprises a laser (9), an optical focussing system (10) containing an axicon (26) and a focussing objective (12), a coolant supply mechanism (16), a mechanism (20) for making the cut, means (22) for the relative displacement of the material (14) being cut, and means (27) for supplying additional heat to the material. The principal functional units and mechanisms are controlled by a control system (25) using a specific algorithm.



Способ резки неметаллических материалов под воздействием термоупругих напряжений заключается в том, что нагрев линии осуществляют, например лазерным пучком, имеющим на поверхности материала в поперечном сечении, проходящем через центр пучка, распределение плотности мощности излучения, убывающей от периферии к центру пучка, при этом форма пучка на поверхности материала по существу совпадает с контуром резки.

Устройство по одному из вариантов содержит лазер 9, оптическую фокусирующую систему 10, содержащую аксикон 26 и фокусирующий объектив 12, механизм 16 подачи хладагента, механизм 20 нанесения надреза средство 22 относительного перемещения разрезаемого материала 14 и средство 27 дополнительного нагрева материала. При этом в устройстве реализуется управление основными функциональными узлами и механизмами по заданному алгоритму с помощью системы управления 25.

#### ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Коды, используемые для обозначения стран-членов РСТ на титульных листах брошюр, в которых публикуются международные заявки в соответствии с РСТ.

AT	Австрия	FI	Финляндия	MR	Мавритания
AU	Австралия	FR	Франция	MW	Малави
BB	Барбадос	GA	Габон	NE	Нигер
BE	Бельгия	GB	Великобритания	NL	Нидерланды
BF	Буркина-Фасо	GN	Гвинея	NO	Норвегия
BG	Болгария	GR	Греция	NZ	Новая Зеландия
BJ	Бенин	HU	Венгрия	PL	Польша
BR	Бразилия	IE	Ирландия	PT	Португалия
CA	Канада	IT	Италия	RO	Румыния
CF	Центральноафриканская Республика	JP	Япония	RU	Российская Федерация
BY	Беларусь	KR	Корейская Народно-Демократическая Республика	SD	Судан
CG	Конго	KZ	Корейская Республика	SE	Швеция
CH	Швейцария	LI	Казахстан	SI	Словения
CI	Кот-д'Ивуар	LK	Лихтенштейн	SK	Словакия
CM	Камерун	LU	Шри-Ланка	SN	Сенегал
CN	Китай	LV	Люксембург	TD	Чад
CS	Чехословакия	MC	Латвия	TG	Того
CZ	Чешская Республика	MG	Монако	UA	Украина
DE	Германия	ML	Малагаскар	US	Соединенные Штаты Америки
DK	Дания	MN	Мали	UZ	Узбекистан
ES	Испания		Монголия	VN	Вьетнам

## СПОСОБ РЕЗКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

### Область техники

5 Изобретение относится к способам обработки материалов, в частности, к способу резки неметаллических материалов, преимущественно стекла, кварца, керамики и устройству для его осуществления. Изобретение может быть использовано для высокоточной резки как листовых неметаллических материалов, так и изделий, имеющих форму тел вращения, например, 10 стеклянных трубок.

### Предшествующий уровень техники

Существует большое количество самых различных способов резки неметаллических материалов: термическая или огневая резка, механическое 15 скрайбирование с помощью алмазного или твердосплавного инструмента, резка с помощью абразивного инструмента, а также различные разновидности лазерной резки. В каждом случае решается определенная техническая задача, и обеспечиваются необходимые требования к производительности, качеству и точности резки.

20 В ряде случаев для достижения высоких требований к точности и качеству обработанных кромок прибегают к предварительной резке с последующей механической доводкой кромок. Это приводит к высокой трудоемкости и, как следствие, высокой себестоимости получаемых изделий.

Поэтому поиск и разработка новых эффективных способов резки 25 неметаллических материалов и устройств, реализующих эти новые способы резки, является актуальной задачей.

Известен способ резки стеклянных трубок, включающий нанесение надреза по линии реза, последующей нагрев линии реза лазерным пучком, при этом пакет трубок вращают перед лазерным ленточным пучком с одновременным перемещением вдоль него, а после нагрева линию реза 5 охлаждают (А.С. СССР N 857025).

Этот способ позволяет получить удовлетворительные результаты при резки тонкостенных трубок малого диаметра из стекла с коэффициентом линейного термического расширения свыше  $50 \times 10^{-7}$  град. Однако он мало 10 пригоден при резке трубок из термостойкого стекла и не может обеспечить высокого качества резки листовых материалов. Это связано с тем, что при резке трубок по всему замкнутому кольцевому контуру при многократном вращении перед лазерным ленточным пучком происходит постепенное увеличение термонапряжений, а при последующем охлаждении линии реза происходит образование сквозной разделяющей трещины по всему 15 кольцевому контуру. Применение такой схемы резки для листовых материалов нецелесообразно и трудно реализуемо.

Известен также способ резки неметаллических материалов, включающий нагрев линии реза тепловым, например, лазерным пучком, локальное охлаждение участка облучения с помощью хладагента при 20 относительном перемещении участка облучения и хладагента (PCT/GB93/00699).

Этот способ дает неплохой результат при прямолинейной резке неметаллических листовых материалов, но не может обеспечить высокого качества и высокой точности резки по криволинейному контуру. Кроме того, 25 указанный способ имеет низкую стабильность процесса резки при высоких значениях плотности мощности излучения и высоких скоростях резки.

Это связано с тем, что при использовании лазерного пучка эллиптического сечения с гауссовым распределением плотности мощности излучения нагрев осуществляется в очень узкой зоне с резким увеличением 30 температуры от периферии к центру. Получить устойчивый процесс термораскалывания при высоких значениях скорости, а следовательно, и плотности мощности чрезвычайно сложно, так как нагрев материала зачастую сопровождается перегревом его в центральной части участка облучения, то есть превышением температуры размягчения материала, что недопустимо для 35 получения высокого качества резки.

Кроме того, при использовании указанного способа резки неметаллических материалов по замкнутому криволинейному контуру качество резки изделий низкое. Как известно, при резке по криволинейному

контур, согласно указанному изобретению, эллиптический пучок должен быть ориентирован по касательной в любой точке криволинейного контура. Однако это приводит к уширению криволинейных участков облучения и нарушению симметрии температурных полей относительно линии реза, что 5 резко ухудшает качество резки. Возникают серьезные трудности и при замыкании разделяющей трещины в случае резки изделий с замкнутым криволинейным контуром.

Известно также устройство для резки неметаллических материалов, содержащее лазер, на оптической оси которого установлена с возможностью 10 перемещения вдоль нее оптическая фокусирующая система, формирующая лазерный эллиптический пучок на поверхности материала, а вблизи участка облучения материала между оптической фокусирующей системой и материалом установлен с возможностью перемещения относительно участка облучения материала механизм подачи хладагента в зону резки, при этом 15 устройство содержит средство фиксации разрезаемого материала и средство относительного перемещения материала и лазерного пучка и хладагента (А.С. СССР 1231813).

В данном устройстве в качестве средства относительного перемещения материала, обеспечивающего получение деталей с криволинейным контуром 20 резки, использован координатный стол с перемещением по координатам  $X$  и  $Y$ , а также поворотный стол, обеспечивающий угловое перемещение по координате  $\varphi$ . Резка осуществляется при перемещении материала перед неподвижным лазерным эллиптическим пучком, нагревающим узкую зону по линии реза, после подачи в зону нагрева через форсунку воздушно-водяной 25 смеси, являющейся эффективным хладагентом.

Устройство обеспечивает прямолинейную резку пластин по координатам  $X$  и  $Y$ . Начало резки осуществляют каждый раз с края пластины, на кромке которой всегда находится достаточное количество ослабленных мест с микродефектами, являющимися концентраторами 30 напряжений, от которых и происходит образование разделяющей трещины в процессе резки.

Однако данное устройство не может обеспечить высокого качества резки при получении замкнутого криволинейного контура резки. Это связано с отсутствием дефектов на поверхности материала по линии реза, которые 35 могли бы служить началом зарождения и развития трещины. Кроме того, описанное устройство неэффективно при резке листовых материалов толщиной свыше 2 мм, так как образование разделяющей трещины происходит с низкой скоростью, а ее глубины недостаточно для получения

качественного разделения.

### Раскрытие изобретения

В основу настоящего изобретения положена задача создать способ  
5 резки неметаллических материалов и устройство для его осуществления, в  
которых за счет изменения условий нагрева и параметров лазерного пучка, а  
также за счет применения в устройстве специальных конструктивных  
элементов и системы управления исполнительными органами обеспечивается  
повышение надежности и производительности процесса, а также качества и  
10 точности резки.

Поставленная задача решается тем, что в способе резки  
неметаллических материалов, включающем нагрев линии реза тепловым,  
например, лазерным пучком, локальное охлаждение участка облучения с  
помощью хладагента при относительном перемещении участка облучения и  
15 хладагента, согласно изобретению, нагрев осуществляют пучком, имеющим на  
поверхности материала в поперечном сечении, проходящем через центр  
пучка, распределение плотности мощности излучения, убывающей от  
периферии к центру пучка.

Это обеспечивает оптимальные условия нагрева материала по линии  
20 реза, обеспечивающие с одной стороны, более равномерный прогрев по всей  
ширине участка облучения материала, с другой стороны, исключают  
перегрев материала по линии реза. Применение лазерного пучка с указанным  
распределением плотности мощности позволяет значительно расширить  
диапазон технологических параметров резки и повысить надежность и  
25 повторяемость процесса резки с одновременным повышением качества резки.

Необходимо нагрев материала по линии реза осуществлять пучком,  
имеющим на поверхности материала форму, по существу совпадающую с  
контуром резки.

Необходимо при резке по криволинейному контуру, имеющему  
30 форму окружности, нагрев осуществлять пучком, имеющим на поверхности  
материала серповидную форму с радиусом кривизны, по существу  
совпадающим с радиусом окружности.

При резке по замкнутому контуру целесообразно нагрев осуществлять  
пучком, имеющим на поверхности материала, по существу, форму замкнутого  
35 контура.

Применение для нагрева материала пучка, имеющего форму, по  
существу совпадающую с контуром резки, обеспечивает симметричное  
распределение термоупругих напряжений, обеспечивающее в свою очередь

повышение качества резки по криволинейному контуру, а также повышение производительности резки.

Целесообразно перед началом охлаждения участка облучения материала наносить надрез на поверхности материала на линии реза.

5 Это обеспечивает повышение точности резки, а также облегчает условие зарождения разделяющей трещины на поверхности материала, что повышает надежность процесса резки.

Поставленная задача решается также тем, что в устройстве для резки неметаллических материалов, содержащем источник теплового излучения, 10 например, лазер, на оптической оси которого установлена с возможностью перемещения вдоль нее оптическая фокусирующая система, формирующая лазерный пучок на поверхности материала, а вблизи участка облучения материала между оптической фокусирующей системой и материалом установлен с возможностью перемещения относительно участка облучения 15 материала механизм подачи хладагента в зону резки, а также устройство содержит средство фиксации разрезаемого материала и средство относительного перемещения материала, по крайней мере, относительно хладагента, согласно изобретению, последовательность и момент включения лазера с оптической фокусирующей системой и механизм подачи хладагента, 20 а также место и продолжительность воздействия лазерного пучка и механизма подачи хладагента связаны со средством их относительного перемещения через систему управления и выбраны с учетом места начала резки при получении заданного контура резки неметаллического материала.

Это обеспечивает высокое качество резки по замкнутому 25 криволинейному контуру за счет точного зарождения и замыкания разделяющей трещины.

Целесообразно, чтобы оптическая фокусирующая система содержала оптический элемент, например, аксикон, преобразующий пучок лазерного излучения с гауссовым распределением плотности мощности в пучок, 30 имеющий на поверхности материала в поперечном сечении распределение плотности мощности, убывающей от периферии к центру пучка.

Необходимо, чтобы оптическая система содержала оптический элемент, формирующий на поверхности материала лазерный пучок в форму, по существу совпадающую с контуром резки.

35 Применение таких оптических элементов обеспечивает получение оптимального перераспределения плотности мощности излучения в пучке на поверхности материала, а также оптимизировать условия нагрева материала по любому контуру резки. Это обеспечивает повышение надежности и

производительности процесса и качества резки.

В некоторых случаях целесообразно устройство снабжать механизмом нанесения надреза, управляемым посредством системы управления и установленным с возможностью регулируемого во времени и усилию 5 воздействия в заданной точке поверхности материала, и размещенным между оптической фокусирующей системой и материалом.

Желательно систему управления соединить с механизмом нанесения надреза, оптической фокусирующей системой и механизмом подачи хладагента так, что включение оптической фокусирующей системы 10 производится при совпадении оптической оси лазерного пучка, по существу, с серединой надреза, а время включения механизма подачи хладагента имеет задержку  $t_1$  по отношению к моменту включения оптической фокусирующей системы, определяемому соотношением:

$$15 \quad t_1 = \frac{b/2 + l}{v},$$

где  $b$  - длина лазерного пучка на поверхности материала;  
 $v$  - скорость относительного перемещения;

$l$  - расстояние от лазерного пучка до хладагента;  
 20 при этом после включения оптическая фокусирующая система и механизм подачи хладагента находятся в рабочем положении в течение, по крайней мере, одного технологического цикла, определяемого соотношением:

$$25 \quad t_2 = \frac{L + b/2}{v},$$

где  $L$  - длина контура резки;

$t_2$  - время одного технологического цикла.

Использование в устройстве механизма нанесения надреза, управляемого через систему управления, а также работа других 30 исполнительных органов и механизмов устройства в зависимости от места начала резки, то есть от места нанесения надреза, позволяет получить абсолютно высокую повторяемость процесса резки любых сложных прецизионных изделий.

Также желательно в ряде случаев устройство дополнительно снабжать 35 средством для нагрева, при этом в качестве средства для нагрева материала можно использовать плоский нагреватель, на котором размещен разрезаемый материал.

В ряде случаев, целесообразно в качестве средства для нагрева



материала использовать источник теплового излучения, например, лазер, инфракрасную лампу или газовую горелку.

Применение таких источников тепла обеспечивает более эффективный нагрев объемных слоев материала и требует меньших энергетических затрат 5 для прогрева материала непосредственно в зоне резки.

Предварительный нагрев материала обеспечивает увеличение скорости резки и глубины разделяющей трещины. Предварительный нагрев особенно целесообразен при резке материалов толщиной свыше 2 мм.

Таким образом, за счет оптимизации условий нагрева и параметров 10 пучка, а также благодаря применению в устройстве описанных конструктивных элементов, включая управление функциональными органами устройства, через систему управления достигается повышение надежности и производительности процесса, а также качества и точности резки.

15 Лучший вариант осуществления изобретения

В дальнейшем изобретение поясняется на примере выполнения со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых:

фиг. 1 изображает графическую зависимость распределения температуры нагрева поверхности материала лазерным пучком, имеющим в 20 поперечном сечении, проходящем через центр пучка, распределение плотности мощности излучения, убывающей от периферии к центру пучка;

фиг.2 - схему резки по криволинейному контуру пучком, имеющим на поверхности материала форму, совпадающую по существу с контуром резки;

25 фиг.3 - схему резки по окружности в соответствии со способом - прототипом (I) и в соответствии с предлагаемым изобретением (II);

фиг.4 - устройство для резки неметаллических материалов, согласно изобретению;

фиг.5 - схему резки по замкнутому криволинейному контуру.

30 Способ резки неметаллических материалов заключается в следующем. При нагреве поверхности материала лазерным излучением инфракрасного диапазона, например, излучением  $\text{CO}_2$ - лазера с длиной волны 10,6 мкм, для которого стекло, кварц, керамика и ряд других хрупких неметаллических 35 материалы являются непрозрачными, в поверхностных слоях в зоне облучения возникают напряжения сжатия. После локального охлаждения участка облучения термонапряжения меняют знак на противоположный, то есть на границе "нагрев-охлаждение" возникают напряжения растяжения,

которые при определенных условиях приводят к образованию в материале разделяющей трещины. К основным параметрам, влияющим на технологические режимы резки, относятся в первую очередь параметры лазерного пучка на поверхности материала. Например, применение лазерного пучка эллиптической формы, вытянутого вдоль линии резки, приводит к увеличению скорости резки и глубины образующейся трещины.

Однако использование пучка лазерного излучения с гауссовым распределением плотности мощности для режима термораскалывания имеет существенные трудности и ограничения. В первую очередь это связано с тем, что такой пучок вызывает очень интенсивный нагрев материала в центральной части участка облучения с резким спадом температуры к периферии. Такие условия нагрева не являются оптимальными, так как зачастую приводят к перегреву материала вдоль линии реза, когда температура нагрева превышает температуру размягчения материала, что приводит к резкому ухудшению качества резки.

Согласно предлагаемому изобретению, необходимо нагрев линии реза осуществлять пучком, имеющим на поверхности материала в поперечном сечении, проходящем через центр пучка, распределение плотности мощности излучения, убывающей от периферии к центру пучка. На фиг. 1 показано распределение температуры при нагреве материала лазерным пучком 1, имеющим форму эллиптического кольца, распределение плотности мощности у которого в поперечном сечении, проходящем через центр О пучка 1, убывает к центру. К моменту полного прохождения пучка 1 кривая распределения температуры имеет оптимальную форму. Максимум нагрева приходится на линию реза, однако и весь участок облучения достаточно равномерно прогрет. При последующем охлаждении участка облучения напряжения растяжения в данном случае будут иметь большие значения, а возможность перегрева материала по линии реза практически исключается.

Следует отметить, что положительный результат достигается не только при использовании лазерного пучка кольцевого сечения, когда плотность мощности убывает от периферии к центру, но и при использовании пучка с практически равномерным распределением по сечению плотности мощности излучения, и даже с невысоким ростом плотности мощности к центру.

Аналогичный положительный эффект может быть достигнут при использовании двух перекрывающихся гауссовых пучков, смещенных в поперечном направлении друг относительно друга.

Описанный выше прием оптимизации условий нагрева материала за

счет применения лазерного пучка с заданным распределением плотности мощности дает одинаково высокий результат как при прямолинейной резке по криволинейному контуру, так и при резке по криволинейному контуру, а также как при резке листовых материалов, так и при резке изделий, 5 имеющих форму тел вращения, например, трубок.

Однако при резке по криволинейному контуру возникают дополнительные трудности, которые не встречаются при прямолинейной резке. Рассмотрим основные из них.

Известно, что применение лазерного эллиптического пучка, 10 вытянутого вдоль линии реза, обеспечивает повышение производительности и точности резки. При резке по криволинейному контуру прибегали к ориентации эллиптического пучка по касательной в любой точке криволинейного контура. Однако это приводит к различным условиям нагрева на прямолинейных и криволинейных участках контура резки. И чем более 15 вытянут пучок вдоль линии реза, тем, с одной стороны, выше обеспечивается скорость резки, но одновременно, с другой стороны, труднее реализуем способ резки по криволинейному контуру и хуже качество резки.

Согласно изобретению, целесообразно нагрев осуществлять пучком, имеющим на поверхности материала форму, по существу совпадающую с 20 контуром резки. На фиг.2 показана схема такой резки.

Здесь на прямолинейном участке используется пучок 1, имеющий форму эллипса, вытянутого вдоль линии реза, и хладагент 2. На криволинейных участках пучок имеет форму 3 и 4, соответственно совпадающую с контуром резки.

25 На фиг.3 показан пример резки по криволинейному контуру, имеющему форму окружности радиуса  $R_1$  и  $R_2$ .

Слева (Вариант 1) показана схема резки традиционным способом, когда эллиптические пучки 5 и 6 ориентированы по касательной.

Согласно изобретению (II), целесообразно при резке по 30 криволинейному контуру, имеющему форму окружности, нагрев осуществлять пучком 7 и 8, имеющим на поверхности материала серповидную форму, с радиусом кривины  $R_1$  и  $R_2$ , по существу совпадающим с радиусом соответствующей окружности.

Применение пучка серповидной формы обеспечивает следующие 35 преимущества:

- повышение качества резки за счет обеспечения при нагреве симметрии температурных полей;
- повышение точности резки за счет уменьшения ширины зоны

нагрева;

- повышение точности замыкания трещины;
- повышение точности и надежности процесса резки.

При резке по замкнутому контуру целесообразно нагрев осуществлять пучком, имеющим на поверхности материала по существу форму замкнутого контура. Например, при резке по окружности малого диаметра, целесообразно лазерное излучение формировать на поверхности материала в пучок кольцевой формы, при этом диаметр кольцевого пучка должен, по существу, совпадать с диаметром окружности. В этом случае для резки достаточно совершить перемещение хладагента по кольцевому контуру при неподвижном материале и лазерном пучке.

Хотя лучший результат может быть получен при одновременном вращательном перемещении как лазерного пучка, так и хладагента, так как это обеспечивает оптимальные условия нагрева и охлаждения материала.

Такую схему резки можно использовать не только при резке по окружности малого диаметра, но и при вырезке прямоугольных заготовок или заготовок с небольшими радиусами закруглений. К такой резке целесообразно прибегать при массовом производстве миниатюрных деталей с жесткими требованиями к качеству обработки торцов и точности геометрических размеров.

В ряде случаев необходимо дополнительно на поверхности материала на линии реза наносить надрез преимущественно перед началом охлаждения участка облучения материала.

Прием нанесения надреза в технике не является новым, а часто используется при любой термической резке как листовых материалов, так и труб. Однако в нашем способе резки в совокупности с вышеперечисленными техническими приемами нанесение надреза дает совершенно новый эффект, а именно: позволяет получать очень высокую точность резки и качество кромок, не требующее никакой дополнительной обработки. Кроме того, нанесение надреза позволяет повысить надежность и повторяемость процесса резки по криволинейному контуру.

Следует указать еще на одну особенность нашего приема нанесения надреза, отличающую его от известных ранее аналогичных технических приемов.

Например, в способе-прототипе нанесение надреза осуществляется перед началом нагрева линии реза лазерным пучком. Однако при резке кварцевого стекла последующий нагрев произвел бы отжиг, то есть снятие

напряжений у данного концентратора напряжений. И такой надрез не может служить началом зарождения разделяющей трещины. Поэтому в ряде случаев, в том числе при резке кварцевого стекла, надрез следует наносить непосредственно перед началом охлаждения участка облучения материала, во время нагрева или сразу же после его завершения.

В этом случае глубина и ширина наносимого надреза может быть значительно меньше, чем необходимые в предыдущих случаях традиционного использования надреза. А поскольку размеры надреза уменьшаются, то это обеспечивает повышение качества резки.

10 Более того, установлено, что в ряде случаев нанесения надреза как такового не требуется вовсе. Достаточно после нагрева линии реза для зарождения трещины перед началом охлаждения участка облучения материала приложить к нему дополнительные, например, механические напряжения.

15 Рассмотрим конкретный пример реализации способа.  
Пример.

20 Произведена резка листового стекла толщиной 1,1 мм на заготовки для магнито-оптических дисков с наружным диаметром 130 мм и внутренним диаметром 15 мм. Использован  $\text{CO}_2$  - лазер с максимальной мощностью излучения 45 Вт. Дополнительный нагрев стекла не применялся. В оптической фокусирующей системе использовалась коническо-цилиндрическая оптика, формирующая серповидные пучки длиной 32 мм по периметру наружной окружности заготовки диска и 15 мм по внутренней окружности. Точечный надрез осуществлялся с помощью алмазной иглы.

25 Хладагент (воздушно-водяная смесь) подавался в зону резки через форсунку с давлением воздуха 2 атм, расход воды составлял 2 мл/мин. Скорость резки составляла по большой окружности 150 мм/с, по внутренней - 47 мм/с. Точность резки составила - 5 мкм.

30 Более подробно примеры реализации резки будут описаны при раскрытии работы устройства.

Рассмотрим варианты устройства, реализующего предлагаемый способ резки неметаллических материалов.

Устройство для резки неметаллических материалов, например, листовых материалов, содержит источник теплового излучения, например, 35 лазер 9 (фиг.4), на оптической оси которого установлена оптическая фокусирующая система 10, состоящая из поворотного зеркала 11 и фокусирующего объектива 12, формирующего лазерный пучок 13 на поверхности материала 14 в зоне 15 резки. В непосредственной близости от

зоны резки 15 расположен механизм 16 подачи хладагента, выполненный в виде форсунки 17 и водяного и воздушного клапанов 18 и 19, обеспечивающих подачу воздушно-водяной смеси, являющейся эффективным хладагентом, в зону 15 резки. Механизм 16 подачи хладагента снабжен 5 направляющими с микрометрическими винтами (на чертежах не показаны), обеспечивающими возможность его прецизионного перемещения по координатам X, Y.

Рядом с зоной 15 резки размещен механизм 20 нанесения надреза, выполненный в виде алмазной иглы или другого режущего инструмента. 10 Данный механизм 20 установлен с возможностью перемещения в вертикальной плоскости до контакта с материалом 14 в заданной точке с заданным регулируемым усилием и в течение заданного промежутка времени. при воздействии алмазной иглы на неподвижный материал 14 образуется точечный дефект заданной глубины, а при воздействии алмазной иглы на 15 перемещающийся материал 14, на поверхности материала 14 образуется надрез заданной длины и глубины.

Для удержания материала в процессе резки устройство содержит средство 21 фиксации разрезаемого материала, которое может быть выполнено в виде пластин-фиксаторов. В данном случае пластины-фиксаторы 20 выполнены с боковыми зеркальными гранями под углом 45 градусов и помимо функции фиксации материала способствуют зарождению трещины на краю пластины.

Однако наиболее удобным средством фиксации является вакуумная фиксация.

25 В качестве средства относительного перемещения материала 14 и основных функциональных узлов, которыми являются оптическая фокусирующая система 10, механизм 16 подачи хладагента и механизм 20 нанесения надреза, могут быть использованы различные варианты координатных и поворотных столов для перемещения материала 14 или 30 оптические транспортные средства для перемещения лазерного пучка и хладагента относительно неподвижного материала.

В данном конкретном устройстве в качестве средства 22 перемещения материала 14 использована система поворотного и координатного столов 23 и 24, которые обеспечивают перемещение материала 14 по любому заданному 35 контуру.

Управление средством 21 фиксации, средством 22 относительного перемещения материала 14, механизмом 16 подачи хладагента (посредством управления водяным и воздушным клапанами 18 и 19), механизмом 20

нанесения надреза, оптической фокусирующей системой 10, лазером 9 осуществляется с помощью системы 25 управления. Система 25 управления осуществляет управление и связь между всеми функциональными органами и исполнительными механизмами устройства в зависимости от заданной 5 программы.

Для преобразования пучка лазерного излучения с гауссовым распределением плотности мощности в пучок, имеющий на поверхности материала в поперечном сечении, проходящем через центр пучка, распределение плотности мощности, убывающей от периферии к центру 10 пучка, оптическая фокусирующая система 10 содержит оптический элемент, например, аксикон 26.

Этот же оптический элемент может быть использован также для формирования пучка, имеющего форму кольца, совпадающего с контуром резки по окружности.

15 Следует отметить, что для получения лазерного пучка с заданным распределением плотности мощности и с заданной формой на поверхности материала существует большое количество конструктивных решений, использующих не только прозрачные оптические элементы, но и отражающую металло-оптику, а также их комбинации.

20 В частности, для реализации способа резки по схеме, показанной на фиг. 2, можно использовать неподвижное поворотное зеркало, копирующее контур резки, которое будет преобразовывать ленточный пучок, сформированный цилиндрической оптикой, в пучок криволинейной формы, по существу совпадающей с контуром резки. Этот же результат может быть 25 достигнут применением подвижного гибкого зеркального элемента, перемещающегося по копиру и повторяющего форму контура резки.

В ряде случаев для предварительного нагрева материала 14 устройство содержит средство для нагрева материала, выполненное в виде плоского нагревателя 27, размещенного на поворотном столе 23.

30 В качестве средства для предварительного нагрева материала может быть также использован любой известный источник теплового излучения, например, лазер, инфракрасная лампа или газовая горелка.

Порядок работы устройства для резки неметаллических материалов поясним на примере изготовления детали с замкнутым криволинейным 35 контуром 28 (фиг.5). Включением механизма 20 наносится надрез в точке С контура 28 (фиг.5.). Одновременно осуществляется запуск поворотного стола 23 (фиг.4) в направлении против часовой стрелки с линейной скоростью  $V = w R$ , где  $w$  - угловая скорость,  $R$  - радиус контура, а через промежуток

времени  $\pi R/2 v$ , включается лазер 9. Лазерный пучок 13 начинает прогрев поверхности материала 14, начиная с момента, когда надрез 29 находится в точке D и совпадает по существу с серединой пучка 30. Затем через промежуток времени  $t_1 = (b/2 + l)/v$  открываются клапаны 18 и 19, а в место с нанесенным надрезом 29 подается воздушно-водяная смесь (хладагент 2), в результате чего за счет резкого охлаждения только что прогретого участка материала 14 происходит образование разделяющей трещины, которая по мере вращения материала 14 распространяется по контуру 28. В течение времени

$$t_2 = \frac{2\pi R + b/2}{v}$$

осуществляется воздействие на материал 14 лазерного пучка 30 и подача хладагента 2 в зону резки. По истечении времени  $t_2$  производится выключение лазера 9, закрываются клапаны 18 и 19 и отключается привод поворотного стола 23.

Особенно строго необходимо соблюдать последовательность и начальный момент включения основных функциональных узлов при резке по замкнутому криволинейному контуру. Так, нагрев материала 14 необходимо начинать в тот момент времени, когда надрез 29, по существу, совпадает с оптической осью фокусирующего объектива 12, то есть находится посередине лазерного пучка 30. И еще более важно начало подачи хладагента 2 осуществлять непосредственно в место с нанесенным надрезом 29, то есть с задержкой по времени по отношению к началу нагрева лазерным пучком 30 на величину

$$t_1 = \frac{b/2 + l}{v}$$

Если подачу хладагента 2 начать позже этого момента, то образования трещины не произойдет, если раньше, то произойдет развитие трещины в противоположную сторону, что отрицательно скажется при замыкании трещины по замкнутому контуру 28.

При прямолинейной резке указанные ограничения менее критичны и оказывают меньшее влияние на точность и качество резки.

Кроме того, очень важно, чтобы отключение хладагента 2 после завершения технологического цикла производилось не одновременно с выключением лазера 9, а по крайней мере с той же временной задержкой, с которой происходило его выключение. В противном случае замыкания



трещины по всему контуру не произойдет.

Важным условием при прямолинейной резке и при резке по криволинейному контуру является строгая ориентация положения хладагента 2 по линии резки. Даже незначительное отклонение положения хладагента 2 от заданного контура 30 приводит к заметному ухудшению качества резки и снижению точности резки.

Описанные преимущества заявляемого способа резки неметаллических материалов, преимущественно стекла, и устройства для его осуществления обеспечиваются всей совокупностью отличительных признаков, так как 10 исключение любого из них не обеспечивает достижения поставленной цели.

Способ резки с помощью предложенного устройства прошел опробацию и реализован для вырезки прецизионных изделий из стекла, кварца, ситалла, ряда монокристаллических материалов и показал неоспоримое преимущество перед традиционными методами изготовления 15 высокоточных деталей и изделий.

Применение описанного способа резки и устройства наряду со снижением трудоемкости процесса за счет исключения операций алмазно-абразивного шлифования и доводки торцев изделий обеспечивает повышенную механическую прочность и эксплуатационную надежность 20 благодаря бездефектности кромки после лазерной резки.

#### Промышленная применимость

Настоящее изобретение может быть использовано в автомобилестроении для изготовления стекол и зеркал, в электронной 25 промышленности при изготовлении прецизионных подложек для жидкокристаллических индикаторов и фотошаблонов, магнитных и магнитооптических дисков, в часовой промышленности для изготовления защитных стекол, в авиационной промышленности при изготовлении изделий конструкционной оптики, в области архитектуры и стройматериалов для 30 размерного раскроя стекла, в том числе в процессе выработки, а также в других областях техники и производства, где используются прецизионные изделия из неметаллических материалов. Данное изобретение может быть успешно использовано для резки не только листовых материалов, но и для резки трубок и других изделий, имеющих форму тел вращения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ резки неметаллических материалов, включающий нагрев  
линии реза источником теплового излучения, например, лазерным пучком,  
5 локальное охлаждение участка облучения с помощью хладагента при  
относительном перемещении участка облучения и, по крайней мере,  
хладагента, отличающийся тем, что нагрев осуществляют пучком, имеющим  
на поверхности материала в поперечном сечении, проходящем через центр  
пучка, распределение плотности мощности излучения, убывающей от  
10 периферии к центру пучка.
2. Способ по п.1., отличающийся тем, что форма пучка на  
поверхности материала по существу совпадает с контуром резки.
3. Способ по пп.1,2, отличающийся тем, что при резке по  
криволинейному контуру, имеющему форму окружности, нагрев  
15 осуществляют пучком, имеющим на поверхности материала серповидную  
форму с радиусом кривизны, по существу совпадающим с радиусом  
окружности.
4. Способ по пп.1,2, отличающийся тем, что при резке по замкнутому  
контуру нагрев осуществляют пучком, имеющим на поверхности материала,  
20 по существу форму замкнутого контура.
5. Способ по пп.1,2,3,4, отличающийся тем, что дополнительно на  
поверхности материала на линии реза наносят надрез преимущественно перед  
началом охлаждения участка облучения материала.
6. Устройство для резки неметаллических материалов, содержащее  
25 источник теплового излучения, например, лазер (9), на оптической оси  
которого установлена с возможностью перемещения вдоль нее оптическая  
фокусирующая система (10), формирующая лазерный пучок (13) на  
поверхности материала (14), а вблизи участка облучения материала между  
оптической фокусирующей системой (10) и материалом (14) установлен с  
30 возможностью перемещения относительно участка облучения материала  
механизм (16) подачи хладагента в зону резки, а также содержит средство  
(21) фиксации разрезаемого материала (14) и средство (22) относительного  
перемещения материала, по крайней мере, относительно  
хладагента, отличающегося тем, что последовательность и момент включения  
35 лазера (9) с оптической фокусирующей системой (10) и механизма (16)  
подачи хладагента, а также место и продолжительность воздействия лазерного

пучка (13) и механизма (16) подачи хладагента связаны со средством (22) их относительного перемещения через систему управления (25) и выбраны с учетом места начала резки при получении заданного контура резки неметаллического материала (14).

5 7. Устройство по п.6, отличающееся тем, что оптическая фокусирующая система (10) содержит оптический элемент, например, аксикон (26), преобразующий пучок лазерного излучения с гауссовым распределением плотности мощности в пучок, имеющий на поверхности материала (14) в поперечном сечении распределение плотности мощности, убывающей от периферии к центру пучка.

8. Устройство по пп.6, 7, отличающиеся тем, что оптическая фокусирующая система (10) содержит оптический элемент, формирующий на поверхности материала (14) лазерный пучок в форму, по существу совпадающую с контуром резки.

15 9. Устройство по пп.6, 7, 8, отличающиеся тем, что оно дополнительно содержит механизм (20) нанесения надреза, управляемый посредством системы управления (25) и установленный с возможностью регулируемого по времени и усилию воздействия в заданной точке поверхности материала (14), и размещен между оптической фокусирующей 20 системой (10) и материалом (14).

10. Устройство по пп.6, 7, 8, 9, отличающиеся тем, что система управления (25) соединена с механизмом (20) нанесения надреза, оптической фокусирующей системой (10) и механизмом (16) подачи хладагента так, что включение оптической фокусирующей системы (10) производится при 25 совпадении оптической оси лазерного пучка (30) по существу с серединой надреза (29), а время включения механизма (16) подачи хладагента (2) имеет задержку  $t_1$  по отношению к моменту фокусирующей системы (10), определяемую соотношением:

$$b/2 + l$$

30  $t_1 = \frac{b/2 + l}{v}$

где  $b$  - длина лазерного пучка на поверхности материала;  
 $v$  - скорость относительного перемещения материала и хладагента;

35  $l$  - расстояние от лазерного пучка (30) до хладагента (2);  
 при этом после включения оптическая фокусирующая система (10) и механизм (16) подачи хладагента (2) находятся в рабочем положении в течение по крайней мере одного технологического цикла, определяемого

соотношением:

$$t_2 = \frac{L + b/2}{v}$$

- 5 где  $L$  - длина контура резки;  
 $t_2$  - время одного технологического цикла.

11. Устройство по пп. 6, 7, 8, 9, 10, отличающиеся тем, что оно дополнительно снабжено средством для нагрева материала (14).
- 10 12. Устройство по пп.11, отличающиеся тем, что в качестве средства для нагрева материала использован плоский нагреватель (27), на котором размещен разрезаемый материал (14).
13. Устройство по пп.11, отличающиеся тем, что в качестве средства для нагрева материала (14) использован источник теплового излучения,
- 15 например, лазер, инфракрасная лампа или газовая горелка.

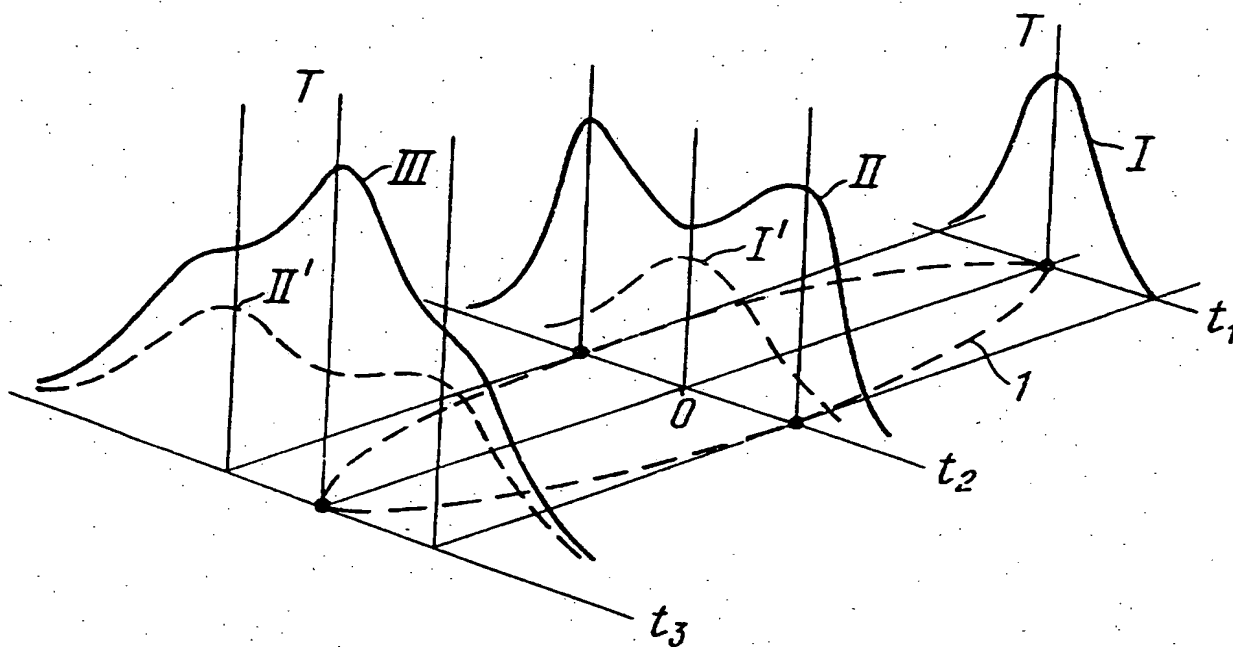


FIG.1

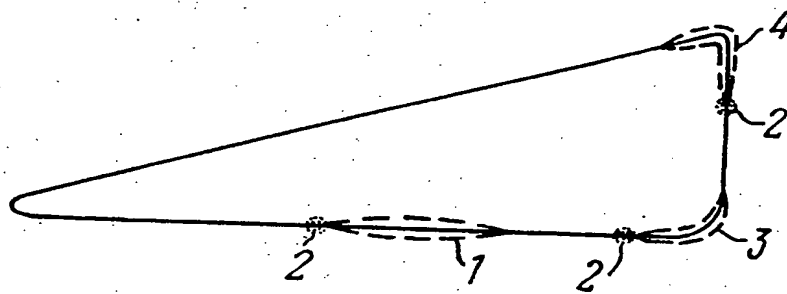


FIG.2

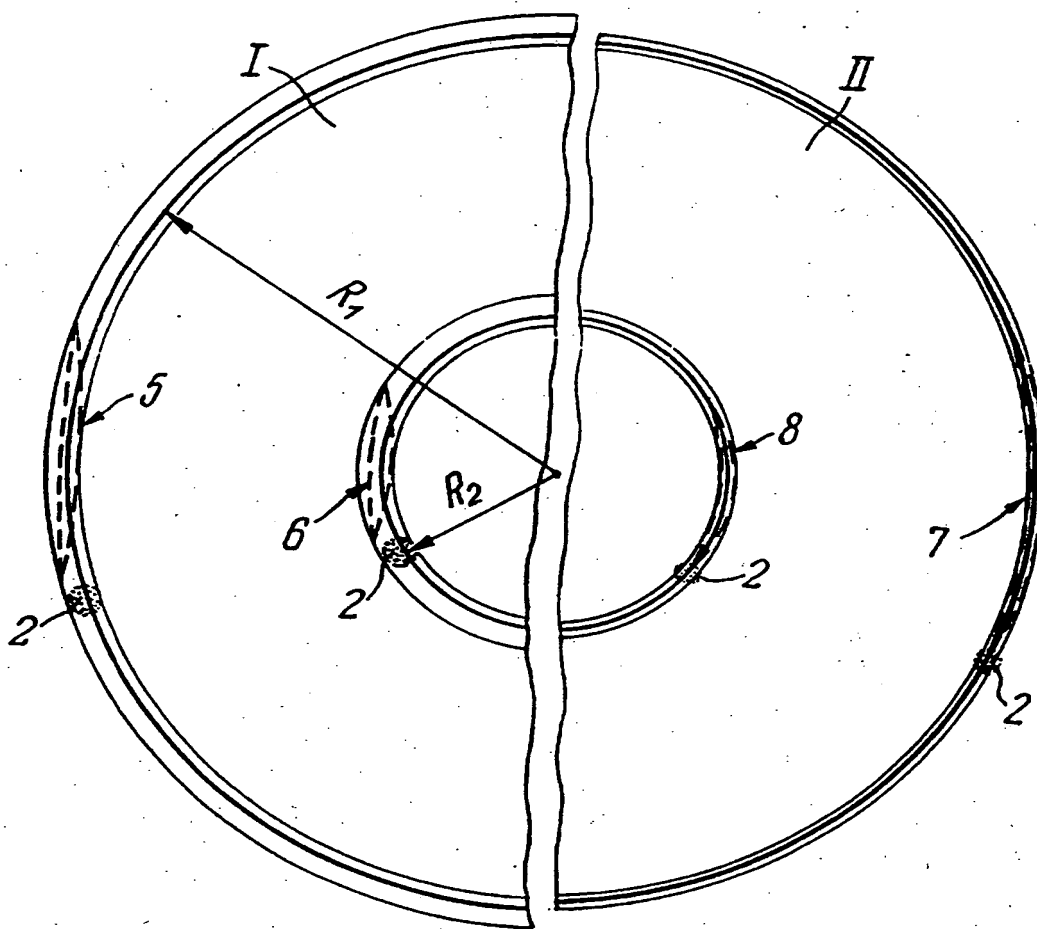
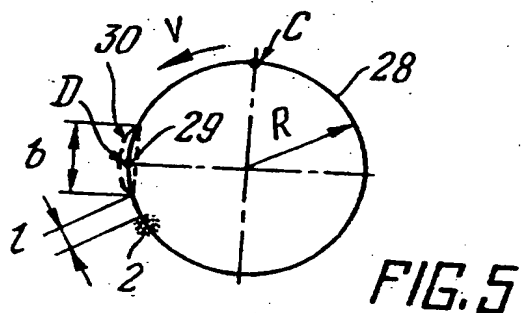
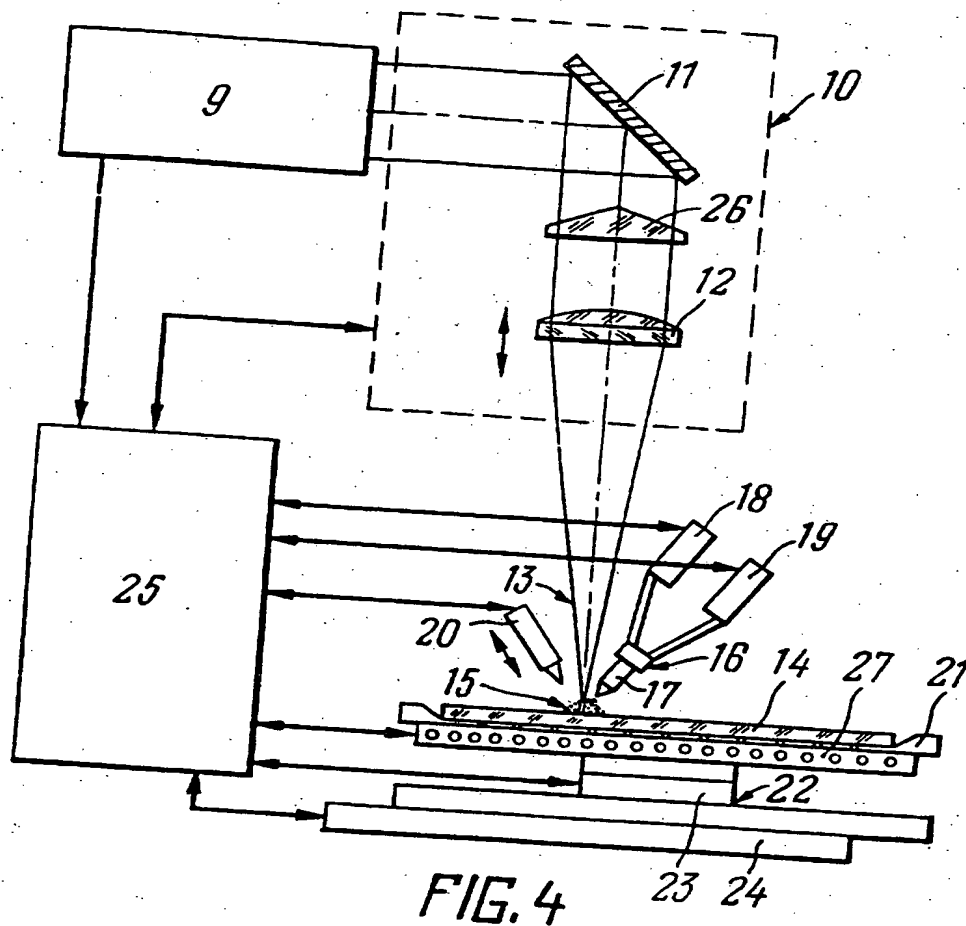


FIG. 3



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 94/00276

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K 26/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23K 26/00,26/06,26/08,26/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	W0, A1, 93/20015 (PCT/GB 93/00699), (TECHNOLOGY LIMITED), 14 October 1993 (14.10.93), cited in description	1,5 2-4,6-13
Y A	US, A, 5237150 (FANUC LTD.), 5 August 1993 (05.08.93), fig. 16, description column 3, p. 25-43	1 6-13
Y A	US, A, 5084604 (U.S. PHILIPS CORPORATION), 28 January 1992 (28.01.92)	5 2-4,6,9
A	US, A, 5004890 (AMADA COMPANY, LIMITED), 02 April 1991 (02.04.91)	6-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 August 1995 (02.08.95)

Date of mailing of the international search report

16 August 1995 (16.08.95)

Name and mailing address of the ISA/

RU

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



# ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка No  
PCT/RU 94/00276

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ: E23K 26/00  
Согласно Международной патентной классификации (МКИ-6)

В. ОБЛАСТИ ПОИСКА:

Проверенный минимум документации (Система классификации и индексы) МКИ-6: E23K 26/00, 26/06, 26/08, 26/14

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (названия базы и, если возможно, поисковые термины):

С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория *)	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту No.
Y A	WO, A1. 93/20015 (PCT/GB 93/00699), (TECHNOLOGY LIMITED), 14 октября 1993 (14.10.93), указан в описании	1,5 2-4,6-13
Y A	US. A. 5237150 (FANUC LTD.), 5 августа 1993 (05.08.93), фиг. 16, описание колонка 3, стр. 25-43	1 6-13
	US. A. 5084604 (U.S. PHILIPS CORPORATION)	

☒ последующие документы указаны в продолжении графы С ☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении

\* Особые категории ссылочных документов:

- "А" - документ, определяющий общий уровень техники.
- "Е" - более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее.
- "О" - документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.
- "Р" - документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета.

- "Т" - более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения.
- "Х" - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень.
- "У" - документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории.
- "&" - документ, являющийся патентом-аналогом.

Дата действительного завершения международного поиска  
02 августа 1995 (02.08.95)

Дата отправки настоящего отчета о международном поиске  
16 августа 1995 (16.08.95)

Наименование и адрес Международного поискового органа:  
Всероссийский научно-исследовательский институт государственной патентной экспертизы, Россия, 121858, Москва, Бережковская наб. 30-1  
факс (095) 243-33-37, телетайп 114818 ПОДАЧА

Уполномоченное лицо:

Г. Квартальнова

тел. (095) 240-58-88

BEST AVAILABLE COPY

Форма PCT/ISA/210 (второй лист) (июль 1992)

## ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер заявления на поиск  
PCT/RU 94/00276

## С. (Продолжение) ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория *)	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту No:
Y A	28 января 1992 (28.01.92)	5 2-4,6,9
A	US. A. 5004890 (AMADA COMPANY, LIMITED), 02 апреля 1991 (02.04.91)	6-13

BEST AVAILABLE COPY

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

